

Balanceamento de Chamadas VoIP a Transcodificar

Italo Tiago da Cunha¹, Jamil Salem Barbar², Joslaine Cristina Jeske de Freitas¹

¹Bacharelado em Ciência da Computação – Universidade Federal de Goiás (UFG)
Rodovia BR 364, Km 192, Setor Parque Industrial, Jataí, GO – Brasil, 75.801-615

²Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação – Universidade Federal de Uberlândia (UFU)
Av. João Naves de Ávila, 2121, Santa Mônica, Uberlândia, MG – Brasil, 38400-902

italo.tiago@gmail.com, jamil@facom.ufu.br, joslaine@gmail.com

Resumo - O presente trabalho trata da tecnologia VoIP (*Voice over Internet Protocol*), que utiliza o protocolo de rede IP (*Internet Protocol*) para prover comunicação por meio das redes de dados, proporcionadora de economia e mobilidade às chamadas. Para que uma chamada seja estabelecida e gerenciada, é necessário o uso de Módulo Servidor de Sessão. Para tanto, pressupõe-se que os participantes disponham de idênticos *codecs*, funcionalidade responsável por transformar um fluxo binário de áudio em outro com a mesma propriedade da informação inicial. Caso sejam distintos, para que a chamada seja estabelecida, é necessária a transcodificação, que consiste na conversão de um fluxo binário de áudio em outro, requerendo o uso de *Media Gateway*, que a realiza, mas com considerável demanda de processador. Isso pode culminar em gargalo, quando for elevado o número de chamadas simultâneas que necessitam ser transcodificadas. Assim sendo, o objetivo do presente trabalho é prover o balanceamento de chamadas VoIP a transcodificar, o que se deu pelo desenvolvimento do Módulo Balanceador de Chamadas. Tal solução é original e proporciona resultados substanciais.

I. INTRODUÇÃO

A *Internet*, até o início da década de 1990, era um verdadeiro reduto de pesquisadores ligados às universidades, ao governo e à indústria. A troca de informações começava a tornar-se indispensável entre as pessoas e as corporações. Por exemplo, o correio eletrônico foi uma das primeiras aplicações que aos poucos começou a substituir as correspondências, de forma rápida, segura e confiável, se comparado com os outros meios de comunicação existentes na época. Aos poucos, a *Internet* passava a ocupar um lugar fundamental, de destaque, na área da comunicação, abrangendo os aspectos pessoais, profissionais e comerciais da sociedade [3] [12].

No início da década de 2000, uma variedade de aplicações surgiu para usufruir do aumento da largura de banda de rede decorrente do aprimoramento tecnológico. Essas aplicações permitiram o uso de serviços de comunicação multimídias, tais como rádio *online*, *Skype*, *NetMeeting*, *Net2Phone*, *Dialpad* e outras. Entre elas estão as que fazem uso da tecnologia VoIP (*Voice over Internet Protocol*), que consiste na transmissão de voz sobre as redes de dados, e que demandam considerável largura de banda de rede [1] [3] [5].

As comunicações de voz entre pessoas distantes, em tempo real, foram inicialmente realizadas por meio de terminais telefônicos da PSTN (*Public Switched Telephone Network*). Com o advento da *Internet* e da tecnologia VoIP, surgiram aplicações que possibilitaram uma forma alternativa para essas comunicações de voz [16].

O uso de um algoritmo de codificação e decodificação, denominado *codec* (*COder/DECoder*), nas sequências binárias de voz pode diminuir consideravelmente o número de pacotes, com o ganho de praticidade no fluxo de transmissão e manutenção relevante da qualidade da voz reproduzida pelo áudio na parte receptora. Já no receptor, ocorre o processo inverso com a aplicação de um *codec* para a reconstrução da mensagem de áudio [1] [16] [19].

Usualmente, os participantes de um sistema de comunicação de voz via *Internet*, usam a tecnologia VoIP e contam com aplicações clientes que se relacionam entre si por intermédio de um Módulo Servidor de Sessão - MSS, modo pelo qual se permite a mobilidade e a escalabilidade. A comunicação de fato, que transporta a informação relativa à voz, é feita entre os participantes por meio de protocolos, com funções de tempo real, sendo o RTP (*Real-time Transport Protocol*), definido pela RFC (*Request for Comments*) 1889, o mais utilizado. Já a comunicação entre as aplicações cliente e o MSS é feita por um protocolo de sessão. Nesta pesquisa utilizou-se o protocolo de sessão SIP (*Session Initiation Protocol*), o qual é o mais utilizado atualmente [11] [14] [15].

Um sistema de comunicação via VoIP é caracterizado pela existência de dois elementos bem distintos: o MSS e o participante, com possibilidade, ainda, de haver ou não o terceiro, o *Media Gateway* - MG, os quais, exceto o MSS, podem ter mais de uma instância [1].

Com o uso da tecnologia VoIP, há ocasiões em que se faz necessária a utilização de MGs, pela sua capacidade de interconexão de chamadas, a exemplo da VoIP com a PSTN, e vice-versa. E, ainda, quando nem todas as aplicações-clientes dos participantes de um sistema de comunicação via VoIP possuam *codecs* compatíveis entre si, o que lhes impede a comunicação, problema que se resolve com o emprego dos MGs, por serem servidores especializados na transcodificação, ou seja, na tradução de fluxos de áudio encapsulados por diferentes *codecs* em outros [14] [15] [16] [18].

Num sistema de comunicação via VoIP, em que se utilizam MGs, estes podem constituir-se em gargalo, por requererem consideráveis recursos do sistema computacional como um todo, em especial o processador, a exemplo da transcodificação e interconexão com a PSTN [8] [9] [17].

Logo, em um ambiente VoIP, os recursos computacionais podem exaurir-se e acarretar a parada do sistema de comunicação, quando constituído por um único MSS e vários MGs submetidos a elevado número de chamadas simultâneas com necessidade de transcodificação. Isso pode ocorrer devido

ao fato de as chamadas não serem distribuídas equitativamente e carecerem de específico e adequado monitoramento.

O objetivo geral deste trabalho é apresentar uma solução para o balanceamento de chamadas entre os MGs quando houver a necessidade de transcodificação. Como objetivos específicos tem-se o planejamento e a implementação de um Módulo Balanceador de Chamadas - MBC, que interage com o MSS.

II. A TECNOLOGIA VoIP

A VoIP (*Voice over Internet Protocol*) consiste numa tecnologia, e não em um serviço, para a comunicação de voz por meio das redes de dados, pela utilização de um conjunto de *software*, *hardware* e padrões que habilitam o transporte da voz por meio do protocolo *Internet*, o IP (*Internet Protocol*) [1] [13] [14].

A convergência como fator imperativo em plataformas híbridas, ou seja, aquelas que mesclam VoIP com PSTN, potencializou investimentos em soluções na tecnologia VoIP, em decorrência de sua competitividade pela oportunidade de uma gama amplificada de serviços aos usuários.

De outro modo, pode-se afirmar que os sistemas híbridos têm-se destacado na provisão de recursos IP e na compatibilização com a infraestrutura de troncos e ramais, pelo que se vislumbra que a convergência de dados, vídeo e voz que já norteia os investimentos na transmissão de dados sobre IP, afigura-se, sobretudo, com excepcional perspectiva em futuro próximo, pela aplicabilidade da VoIP [13] [16].

III. CODIFICAÇÃO DA VOZ

O *codec*, do inglês *Coder/DECoder*, significa codificador-decodificador, e é referenciado a algoritmo implementado em *software* ou embarcado em *hardware*. Um *codec* possui duas funções básicas: a de codificar e a de decodificar um fluxo de *bits*. O fluxo de *bits* é resultante da conversão analógica/digital de um sinal de áudio ou de vídeo, de um dispositivo acoplado ao sistema final, que pode ser um microfone ou uma *webcam*.

Ainda, o *codec* é parte fundamental de uma comunicação que emprega a tecnologia VoIP, pois codifica o fluxo de *bits* proveniente de dispositivo externo, num outro fluxo de *bits* para transmissão numa rede de dados. O mesmo *codec* é utilizado no destino para decodificar, produzindo um fluxo de *bits* o mais fiel possível ao original. Na maioria das vezes, a codificação tem por objetivo a compactação do fluxo de *bits*, promovendo, com isto, a redução da banda de rede necessária a sua transmissão [13] [16].

A usualidade da conversão digital/analógico é observada em CD *players*, telefones celulares etc. A modalidade *codec* de áudio consiste na parte do sistema VoIP responsável por transformar um fluxo binário de áudio em um novo, que preserve as mesmas características da informação inicial, por meio de uma codificação.

A codificação tem o intuito de diminuir, ou mesmo de melhor aproveitar a banda de rede utilizada para a comunicação, primando por não afetar de forma significativa a qualidade apresentada na chamada, proveniente da decodificação do respectivo fluxo recebido. De modo análogo, realiza a codificação da voz humana, analógica,

transformando-a em uma sequência de *bits*, ou seja, de natureza digital [7] [14] [15].

IV. TRANSCODIFICAÇÃO

Entende-se pelo processo de transcodificação a conversão entre diferentes tipos de mídias, com o intuito de prover comunicação, a exemplo de um fluxo de vídeo encapsulado em um formato, que, após transcodificado, é encaminhado ao destino em outra forma, ou uma comunicação telefônica, na qual o originador efetua uma chamada por meio da PSTN, com intuito de atingir um usuário da VoIP, em que se faz necessário, para que se complete um MG, dotado de *hardware* específico, como placas FXO (*Foreign eXchange Office*) ou E1 [14] [15] [16] [18].

Neste artigo, o termo transcodificação é utilizado para descrever a operação realizada por um MG com *codecs* de áudio. Ou seja, caso dois ou mais usuários da VoIP tentem estabelecer uma chamada e esta não seja completada devido à inexistência de *codecs* comuns entre os mesmos, conforme ilustra a Fig. 1.

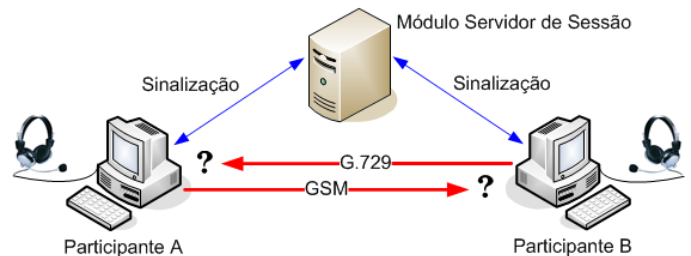


Fig. 1 – Chamada VoIP não Completada.

Para que a chamada se complete, utiliza-se um MG que, ao receber um fluxo de áudio encapsulado em um formato, o desencapsula e em seguida o encapsula num formato no qual o destino consiga entendê-lo, conforme o *codec* disponível. Um exemplo prático é ilustrado na Fig. 2, em que uma chamada VoIP intermediada por um MSS é estabelecida entre os Participantes A e B, que não dispõem de *codecs* comuns, pelo que entra em cena o MG, que provê a comunicação efetiva entre eles por meio da transcodificação [14] [18].

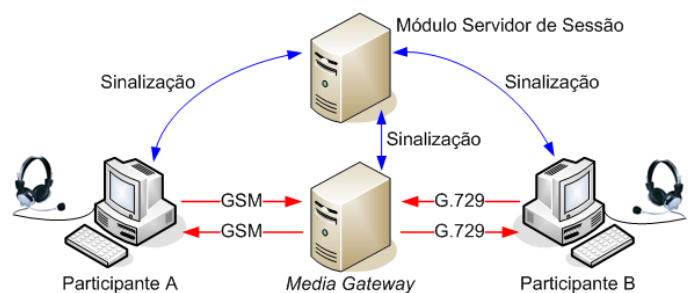


Fig. 2 – Chamada VoIP por Meio de MG.

O Participante A encaminha seu fluxo de áudio encapsulado pelo *codec* GSM com destino ao Participante B, que, então, por não dispor deste *codec* utiliza-se do MG, que decodifica o referido fluxo e novamente o codifica no formato G.729. Vice-versa ocorre de B para A, possibilitando assim a transcodificação e com isso a comunicação entre ambos.

Pelo fato de a Transcodificação demandar considerável uso do processador, um elevado número de chamadas que dela necessitem podem transformar-se num problema crítico ou mesmo torná-la fator limitante se atingido 100% da utilização do recurso, circunstância em que novas chamadas não podem ser completadas, o que é indesejável a qualquer sistema de comunicação [8] [9] [17].

Segundo *benchmark* da TransNexus, cada um GHz de processamento de um MG pode atender a cerca de 30 chamadas simultâneas com transcodificação do *codec* G.711 μ -law para o G.729. Exemplo prático é o servidor Dell (*Intel Xeon X3220 Quad core*, 2.40 GHz, 4 GB (*Gigabyte*) RAM (*Random Access Memory*)), que atingiu 95% de utilização do processador, ao transcodificar 288 chamadas simultâneas [9].

O fato de um MG estar com seu processador em alto percentual de uso pode comprometer a qualidade de uma ligação, pois isso pode ocasionar atrasos na transcodificação. Acrescem-se a isso os riscos inerentes à própria VoIP relativos a perdas de pacotes ou *delays* durante a transmissão.

Além disso, a transcodificação demanda pequeno intervalo de tempo, em milissegundos, para acontecer. E quando da transcodificação, avaliando-se dois MGs, o dotado de maior capacidade de processamento apresenta considerável redução, ou seja, para efetuá-la requer menor tempo. Maiores detalhes podem ser obtidos em [1].

Uma solução prática ao problema de descartes de chamadas VoIP com necessidade de transcodificação consiste na adição de tantos MGs quantos forem necessários ao atendimento das chamadas demandadas. O problema constitui-se em como distribuir as chamadas VoIP que necessitam de transcodificação de modo a não sobrecarregar nenhum dos MGs durante o processo de encaminhamento.

A utilização do método *Round Robin*, mecanismo de balanceamento local utilizado pelos servidores de DNS (*Domain Name System*) para partilhar e distribuir cargas de recursos na rede, é ineficaz em VoIP por não levar em consideração a carga dos MGs [4].

No entanto, ainda, diferentemente de uma página *web*, que é carregada "*download*" com imediata desalocação do recurso, o MG, em uma chamada VoIP não há como prever sua respectiva duração, e a utilização do recurso se dá de modo contínuo, cuja imprevisibilidade de desalocação desfavorece o balanceamento.

Dessa forma, torna-se mais factível o balanceamento das chamadas VoIP carentes de transcodificação entre os MGs com base no percentual de uso de seus respectivos processadores. Entretanto, se os MGs estiverem com todos os processadores em elevado percentual de uso, as chamadas que chegarem sofrerão descartes a fim de evitar comprometimento das já em andamento. Dessa forma, o MBC apresenta-se como inovadora e eficiente *solução* ao problema de fato do balanceamento [1] [2] [7].

V. BALANCEAMENTO DE CHAMADAS VoIP A TRANSCODIFICAR

A transcodificação faz uso de consideráveis recursos computacionais, em especial de processador, para o que requer um cenário adequado. Contudo, um único MG restringe o número de chamadas VoIP a transcodificar, pelo que se faz

necessária a adição de outros. Contudo, isso implica decidir a qual deles encaminhar a chamada, sobretudo, obedecendo a um critério equitativo, que possibilite a adequada utilização dos recursos disponibilizados e reduza a probabilidade do descarte de chamadas.

Para a distribuição equitativa das chamadas VoIP que necessitam de transcodificação, há necessidade de monitorar os percentuais de carga disponíveis nos respectivos MGs, que compõem o cenário ou ambiente VoIP e a utilização do SNMP (*Simple Network Management Protocol*) torna-o possível [1].

De posse dos respectivos percentuais, ocorre a demanda por funções capazes de interagir, a fim de realizarem o equitativo balanceamento. Se concebidas em suas individualidades, essas funções constituem sub-módulos específicos, componentes de um possível modelo ou módulo integrador, dotado do mecanismo de balanceamento.

Num ambiente VoIP, composto apenas pelos elementos MSS e os participantes, constata-se que, caso os últimos não disponham de *codecs* compatíveis, não é possível o estabelecimento de uma chamada entre os mesmos, haja vista a inaptidão do MSS à transcodificação de chamadas; isso demanda a inserção do MG nesse ambiente, como terceiro elemento, pois ele provê tal funcionalidade [6].

Assim sendo, faz-se necessária a integração entre o MSS e o MG, visto que ambos apresentam peculiares funcionalidades, com o intuito de melhor aproveitá-las e possibilitar o estabelecimento de uma chamada entre os participantes com *codecs* diferentes. Enquanto o MSS é especializado em atender a elevado número de chamadas VoIP não transcodificadas, o MG supre tal necessidade [6].

A união de ambos pode prover transparência aos participantes, quando da necessidade de transcodificação, sem que eles notem o que ocorreu. Ainda, por tal integração, reiteradamente tentada, a viabilidade técnica obtida restringiu-se a apenas um MG, o que suscitou o problema do tratamento da imprevisibilidade de demanda, que, acima do limite por ele suportado compromete o sistema, no tocante à qualidade das chamadas, bem como pela ocorrência do descarte das que não possa atender.

A referida imprevisibilidade, se tratada apenas com o acréscimo de MGs, não se resolve, por não contemplar um mecanismo sequer de distribuição de chamadas, o que resultou na necessidade de desenvolvê-lo. Isso se deu pelo MBC, que provê um balanceamento de chamadas VoIP a transcodificar, ou seja, chamadas VoIP que necessitam de transcodificação serão por ele distribuídas equitativamente entre os MGs de modo a evitar a sobrecarga de qualquer deles, além de prover escalabilidade. No entanto, para esse balanceamento é imprescindível o monitoramento dos percentuais disponíveis de carga dos MGs.

Para a aferição dos percentuais disponíveis de carga nos MGs, faz-se necessário o monitoramento dos principais recursos necessários a transcodificação, entre os mais importantes, destaca-se principalmente o processador, bem como a memória. Assim, fica evidente a dinâmica de funcionamento do MBC, mostrando com isto, que vários outros elementos podem ser monitorados e tomados como

referência para a realização do balanceamento de chamadas VoIP a transcodificar [1] [2] [7] [9] [17].

Assim sendo, para que o MBC proceda ao equitativo balanceamento de chamadas VoIP a transcodificar, foi utilizado o protocolo SNMP, para por meio dele monitorar os recursos computacionais dos MGs, no caso o processador e a memória, e repassar os respectivos percentuais ao Módulo. A seção seguinte contempla o MBC [1] [2] [7].

VI. O MÓDULO BALANCEADOR DE CHAMADAS

O sistema que trabalha com a VoIP e que proveja balanceamento de chamadas que necessitem de transcodificação, é composto por MGs, os quais efetivamente realizam a transcodificação, bem como o Servidor de Chamadas. Assim, tanto o Servidor de Chamadas quanto os MGs são disponibilizados na rede de dados, no caso, *Internet* ou *Intranets*.

A estrutura do Servidor de Chamadas é composta por dois grandes módulos: MSS e MBC. O MBC é composto por quatro Sub-módulos integrados, Verificador, Atualizador, Contador e Indicador de MG, cuja breve descrição é apresentada a seguir:

- Sub-módulo Acionador: aciona o Sub-módulo Verificador;
- Sub-módulo Verificador: verifica quais os MGs estão operantes e atualiza a Lista de Recursos de MGs, que é apresentada nesta seção;
- Sub-módulo Atualizador: consulta a Lista de Recursos de MGs e atualiza a Lista de Prioridades - LP;
- Sub-módulo Indicador de MG: encaminha ao MSS o identificador do MG, da LP, com menor VCB (Valor Calculado para o Balanceamento), descrito na seção VII.

Para que haja o balanceamento de chamadas VoIP a transcodificar, o MBC atua baseado nos percentuais de recursos computacionais disponíveis nos MGs, listando-os em ordem de prioridade para o atendimento das chamadas VoIP a transcodificar. Equaliza sua distribuição entre os MGs que compõem o ambiente VoIP no qual é implementado. O referido módulo provê o balanceamento de chamadas VoIP a transcodificar. A Fig. 3 apresenta o MBC em respectivo cenário de aplicabilidade.

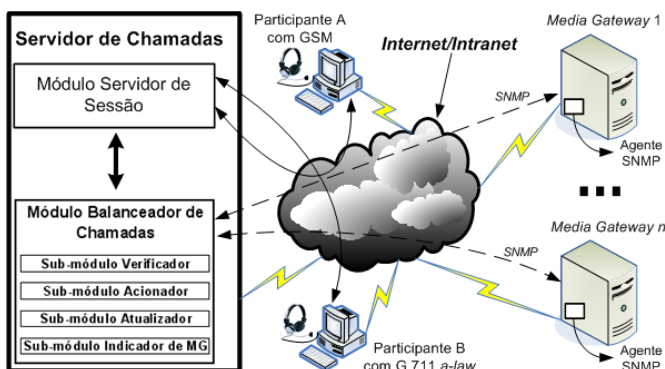


Fig. 3 – Cenário de Aplicabilidade do MBC.

Na Fig. 3 pode ser visto o MBC com seus respectivos Sub-módulos integrado aos demais componentes do cenário que

possibilitam seu funcionamento. Desta forma, o MBC interage com o MSS, estando ambos localizados no Servidor de Chamadas. Dele constam, ainda, dois participantes, A e B, com distintos *codecs*.

A pluralidade dos MGs decorre da operacionalidade conferida ao MBC para o balanceamento em decorrência de proverem a transcodificação necessária.

Para que os Sub-módulos atuem, faz-se necessário o uso de:

- Lista de MGs: contém a relação de todos os MGs, cada qual com a respectiva identificação e endereço. Esta lista é mantida pelo administrador do sistema, a fim de inserir e ou excluir MGs do ambiente VoIP. Desta forma, possibilita segurança, pois, pode ser alterada apenas pelo administrador, não permitindo com isso o encaminhamento de chamadas a MGs não previamente cadastrados;
- Contador: é usado para estabelecer um número máximo de chamadas encaminhadas ao MG de menor VCB, obtido da LP, isto enquanto não haja uma atualização desta lista pelo Sub-módulo Atualizador. Uma vez acionado o Sub-módulo Atualizador, o contador é zerado;
- Temporizador: é o responsável por acionar o Sub-módulo Acionador periodicamente;
- Lista de Recursos de MGs: contém os dados referentes aos MGs que se encontram operacionais, contendo suas identificações e recursos pertinentes ao balanceamento de chamadas VoIP a transcodificar. Esta lista é atualizada pelo Sub-módulo Verificador e consultada pelo Sub-módulo Atualizador;
- LP: contém a identificação dos MGs ativos, ou seja, aptos a receberem chamadas, com as informações em ordem crescente de VCB, normalizados na escala de 1 a 100. As referentes informações são atualizadas pelo Sub-módulo Atualizador.

Constitui-se o MG ativo aquele que dispõe de um VCB maior que o mínimo necessário para que não degrade a comunicação. Assim, o limiar de VCB máximo aceitável é aquele que não degrada a comunicação VoIP. Portanto, deve haver um limiar máximo aceitável de VCB, conforme calculado a partir da equação (1), apresentada na seção VII.

Com isso, a abstração do modelo de balanceamento de chamadas remete à observação das funcionalidades agrupadas nos Sub-módulos componentes do MBC:

- Sub-módulo Acionador: é o responsável por acionar o Sub-módulo Verificador, o que ocorre em períodos pré-definidos no Temporizador, ou quando o contador atingir o seu limiar, o que ocasiona que o Sub-módulo Indicador de MG o acione e, esse, por conseguinte, ao Sub-módulo Verificador;
- Sub-módulo Verificador: assim que acionado, inicia sua função consultando a Lista de MGs e após listá-los verifica se os mesmos estão operacionais, usando para tanto as chamadas de sistema do SNMP. Satisfeito tal requisito, o mesmo os disponibiliza na Lista de Recursos de MGs, acompanhados, neste caso, das respectivas informações de recursos disponíveis e, aciona o Sub-módulo Atualizador;

- Sub-módulo Atualizador: é responsável por consultar as informações necessárias na Lista de Recursos de MGs, para o cálculo do VCB. Assim, a LP, composta pelo identificador e o valor do VCB, ambos de um respectivo MG, é atualizada com o valor calculado. A LP é ordenada crescentemente em relação ao valor do VCB dos MGs;
- Sub-módulo Indicador de MG: após inquirido pelo MSS, consulta a LP e encaminha o identificador do MG apto a atender à chamada a ser transcodificada. Em seguida, incrementa o Contador e, caso o número de chamadas tenha ultrapassado um limiar pré-definido, o mesmo aciona o Sub-módulo Acionador, quando, então, o Contador é reiniciado.

Didaticamente a Fig. 4 esquematiza o funcionamento do MBC, pela integração dos Sub-módulos que o compõe.

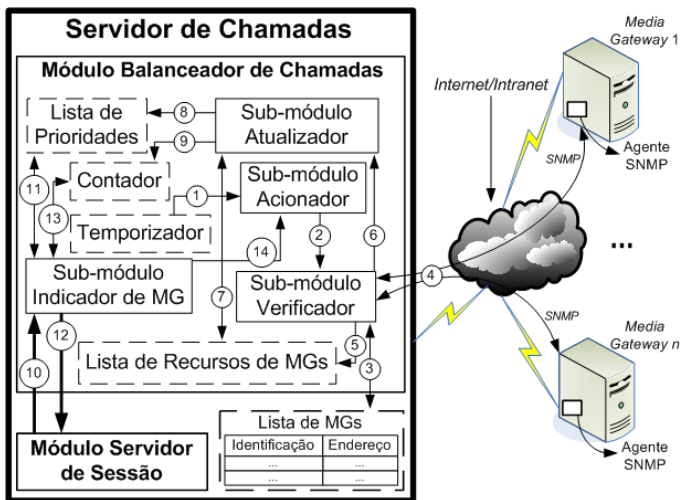


Fig. 4 – Esquema de Funcionamento do MBC.

O MBC atua de forma equânime de acordo com os parâmetros monitorados, permitindo assim um balanceamento de chamadas adequado [2] [7]. As funcionalidades referentes à composição do MBC descrevem por si só um algoritmo de balanceamento de chamadas cuja interação dos Sub-módulos componentes, ilustrada na Fig. 4, ocorre da seguinte maneira:

- 1 – O Temporizador periodicamente aciona o Sub-módulo Acionador;
- 2 – O Sub-módulo Acionador aciona o Sub-módulo Verificador;
- 3 – o Sub-módulo Verificador consulta na Lista de MGs os MGs que compõem o ambiente VoIP;
- 4 – feita a consulta, o Sub-módulo Verificador checa quais dos MGs entre os consultados se encontram operacionais e, dos que estão obtêm as respectivas informações dos recursos monitorados, o que é possível por meio das chamadas de sistema do SNMP;
- 5 – assim que são checados quais os MGs operacionais, o Sub-módulo Verificador os disponibiliza na Lista de Recursos de MGs, juntamente com as informações dos recursos monitorados;
- 6 – em seguida, o Sub-módulo Verificador aciona o Sub-módulo Atualizador;

7 – o Sub-módulo Atualizador quando acionado, consulta a Lista de Recursos de MGs, buscando todas as informações necessárias para proceder ao cálculo do VCB;

8 – após a realização do cálculo do VCB pelo Sub-módulo Atualizador, o VCB e o identificador do MG, são então registrados na LP e ordenados em forma crescente de VCB;

9 – criada a LP o Sub-módulo Atualizador zera o Contador;

10 – quando uma chamada que necessita de transcodificação chega ao MSS, este faz uma requisição ao MBC por meio do Sub-módulo Indicador de MG;

11 – o Sub-módulo Indicador de MG por sua vez busca na LP o MG que disponha do maior percentual de recursos computacionais disponíveis, indicado pelo menor VCB;

12 – o Sub-módulo Indicador de MG, de posse do identificador do MG obtido, o encaminha ao Servidor Sessão, que o repassa aos usuários da chamada, possibilitando que estes se comuniquem;

13 – em seguida, o Sub-módulo Indicador de MG incrementa o Contador e verifica se o número de chamadas transcodificadas atingiu o limiar pré-definido;

14 – logo após, caso o limiar tenha sido atingido, o Sub-módulo Indicador de MG aciona o Sub-módulo Acionador.

A partir de então se reinicia o ciclo e o processo tem continuidade enquanto o MBC permanecer ativo.

VII. CÁLCULO DO VCB

Para que o funcionamento do MBC se efetive de modo eficaz, faz-se necessária a aferição dos recursos disponíveis nos MGs, o que requer uma métrica pertinente que lhe permita desempenhar sua função de distribuição de maneira equitativa as chamadas VoIP a transcodificar [2].

Para tanto, a fim de satisfazer aos requisitos de fidedignidade, utilizou-se o cálculo do VCB (Valor Calculado para o Balanceamento), que possibilita a requisitada eficácia, por normalizar os percentuais de recursos disponíveis monitorados via SNMP em todos os MGs. O respectivo cálculo do VCB é realizado pelo Sub-módulo Atualizador. Assim, desencadeou-se a equação:

$$VCB = 100 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n \text{Recurso}_i * \text{Peso}_i}{\sum_{i=1}^n \text{Peso}_i} \right) \quad (1)$$

A expressão $\left(\frac{\sum_{i=1}^n \text{Recurso}_i * \text{Peso}_i}{\sum_{i=1}^n \text{Peso}_i} \right)$ representa o percentual disponível obtido para cada MG utilizado, em que há n recursos a serem monitorados, apresentando cada qual pesos pré-definidos. Na fórmula 1, o termo 100 é indicativo da percentagem.

Tal fórmula apresenta caráter genérico para o cálculo do VCB, pelo que n assume valor correspondente a quantidade de recursos monitorados. Para a validação da proposta, $n = 2$, pois são considerados apenas dois recursos: processador e memória.

Para a equitativa alocação de MGs para o atendimento das chamadas VoIP a transcodificar, deve-se considerar as respectivas informações dos recursos de processador e memória disponibilizados pelos mesmos. Isso incorre na

imputação de respectivos pesos aos mesmos, aqui convencionados cinco para processador e um para memória, em conformidade com o resultado de testes “benchmarks” em que se constata a acentuada discrepância gráfica entre os respectivos percentuais de recursos no decorrer da transcodificação de chamadas VoIP simultâneas [9] [17].

A fórmula 1 faculta ainda os respectivos cálculos dos VCBs para múltiplos MGs que componham o cenário de aplicabilidade do MBC, sem a necessidade de alterações ou possíveis desdobramentos. Assim, de posse do VCB, o Submódulo Atualizador entra em ação. Com isso, tem-se um eficaz mecanismo para o balanceamento de chamadas VoIP a transcodificar, pela manutenção da LP. A partir de então, o MBC provê o equitativo e efetivo balanceamento das chamadas e possibilita a integração entre diferentes equipamentos e ambientes VoIP, que, não possuindo os mesmos *codecs*, são transcodificadas, após o MBC indicar o MG com maior aptidão para realizá-las.

Em vista disso, quando se utiliza um Telefone IP ou mesmo ATA, não há que se preocupar com o *codec* com que o mesmo opere, visto que o MBC ocupa-se de disponibilizar um MG apto a atender chamadas que demandem transcodificação, caso a outra parte não disponha de *codec* correspondente.

Ainda, quando do surgimento de novas tecnologias, em especial no âmbito de *codecs*, apenas faz-se necessária a atualização dos MGs, para a viabilização das mesmas, se for necessária a transcodificação [14].

VIII. VALIDAÇÃO DA PROPOSTA

A presente seção consiste na validação do MBC como eficaz solução ao balanceamento de chamadas VoIP a transcodificar.

Conceberam-se e executaram-se testes validadores do MBC, contemplando as variáveis atinentes a ele. Descrevem-se a seguir, os quatro testes concebidos e efetuados, com o objetivo de validar o proposto:

- O primeiro “Teste 1”: participantes com *codecs* iguais, com o objetivo de aferir o comportamento do MBC, frente a chamadas sem necessidade de transcodificação e não carecedoras portanto, de balanceamento;
- O segundo “Teste 2”: participantes com *codecs* distintos, com o objetivo de aferir a eficácia do MBC, em face da chamada com necessidade de transcodificação, que, conseqüentemente, faz uso do balanceamento;
- O terceiro “Teste 3”: participantes com *codecs* distintos, com o objetivo de aferir a eficácia do MBC, na situação em que um dos MGs se encontrava inativo, com o objetivo de mostrar o comportamento do MBC frente a ambos;
- O quarto “Teste 4”: participantes com *codecs* distintos, com o objetivo de aferir a eficácia do MBC, frente à situação em que ambos os MGs encontravam-se inativos.

A seguir, detalham-se e apresentam-se os resultados dos testes em seus respectivos cenários.

A. Teste 1, Participantes com Idênticos Codecs

O objetivo do Teste 1 foi verificar como o MBC se portou no ambiente VoIP, cenário de testes, entre participantes que

possuíam idênticos *codecs* e, conseqüentemente, o fluxo de áudio da comunicação era encaminhado de modo P2P (*Peer-to-Peer*).

Ao todo, foram efetuadas cinco chamadas, tanto originárias do Participante A com destino ao Participante B e vice-versa. Ambos os participantes utilizaram o *codec* G.711 *a-law*. Nas chamadas VoIP realizadas no Teste 1 não houve necessidade de transcodificação, conforme a Tabela I de VCBs, disponibilizados na LP.

TABELA I
VCBS DISPONIBILIZADOS NA LP NO TESTE 1
VCBs do *Media Gateway* 1

	Antes		Durante		Depois			Antes		Durante		Depois	
	Hora	VCB	Hora	VCB	Hora	VCB		Hora	VCB	Hora	VCB	Hora	VCB
1 ^a	11:02:02	10	11:03:02	9	11:04:02	10	11:02:02	59	11:03:02	59	11:04:02	59	
2 ^a	11:04:02	10	11:05:02	10	11:06:02	9	11:04:02	59	11:05:02	60	11:06:02	59	
3 ^a	11:06:02	9	11:07:02	9	11:09:02	9	11:06:02	59	11:07:02	59	11:09:02	59	
4 ^a	11:09:02	9	11:10:02	9	11:11:02	10	11:09:02	59	11:10:02	59	11:11:02	59	
5 ^a	11:11:02	10	11:13:02	9	11:14:02	10	11:11:02	59	11:13:02	59	11:14:02	59	
	Média: 9,6		Média: 9,2		Média: 9,6		Média: 59		Média: 59,2		Média: 59		

Pela análise da Tabela I, dos VCBs disponibilizados na LP, constatou-se que o MBC estava ativo em todos os momentos “Antes, Durante e Depois” nas cinco chamadas efetuadas. Ainda, detectou-se que as médias para os MGs 1 e 2 durante a realização das chamadas sofreram ligeiras alterações em referência aos momentos Antes e Depois. No MG 1 sofreu pequeno decréscimo, ao passo que no MG 2, ao contrário, sofreu pequeno aumento.

Contudo, como não houve necessidade de transcodificação e, conseqüentemente, de balanceamento, o MBC não foi acionado. Tal teste validou que o módulo apenas faz-se necessário quando da necessidade de transcodificação[1].

B. Teste 2, Participantes com Codecs Distintos

O objetivo do Teste 2 foi verificar como o MBC se portou no ambiente VoIP, cenário de testes, com participantes que possuíam *codecs* distintos. Em todas as chamadas realizadas, os fluxos de áudio da comunicação deram-se via MG e não de forma P2P, devido à necessidade de transcodificação, ao contrário do Teste 1.

A LP é composta por VCBs e endereços IPs dos MGs aos quais correspondem. O MG somente é nela listado, se dotado de recurso computacional mínimo disponível, conforme já anteriormente tratado, ao contrário, se chamadas fossem encaminhadas a MGs saturados, a qualidade seria consideravelmente comprometida.

A Tabela II é ilustrativa da LP dos dois MGs componentes do Teste 2, aferida nas ocasiões “Antes, Durante e Depois” das chamadas realizadas.

TABELA II
VCBS DISPONIBILIZADOS NA LP NO TESTE 2
VCBs do *Media Gateway* 1

	Antes		Durante		Depois			Antes		Durante		Depois	
	Hora	VCB	Hora	VCB	Hora	VCB		Hora	VCB	Hora	VCB	Hora	VCB
1 ^a	11:24:02	12	11:25:02	13	11:26:02	14	11:24:02	59	11:25:02	59	11:26:02	59	
2 ^a	11:27:02	12	11:28:02	13	11:29:02	12	11:27:02	59	11:28:02	59	11:29:02	59	
3 ^a	11:29:02	12	11:30:02	13	11:31:02	12	11:29:02	59	11:30:02	59	11:31:02	59	
4 ^a	11:32:02	11	11:33:02	13	11:34:02	12	11:32:02	59	11:33:02	59	11:34:02	59	
5 ^a	11:35:02	11	11:37:02	12	11:38:02	11	11:35:02	59	11:37:02	59	11:38:02	59	
	Média: 11,6		Média: 12,8		Média: 12,2		Média: 59		Média: 59		Média: 59		

Pela análise da Tabela II, comprovou-se que o VCB do MG acionado, MG 1, foi o menor, entre os integrantes da LP. Ressalta-se que a transcodificação, conforme constatada, consome recursos computacionais, pois, invariavelmente, em todas as chamadas realizadas no Teste 2, houve alteração entre o valor do VCB na ocasião “Durante” em relação às demais ocasiões, ou seja, “Antes e Depois”. Constatou-se ainda que o VCB permaneceu, praticamente, inalterado em tal ocasião, nas chamadas provenientes de ambos os sentidos dos participantes, ou seja, quando direcionadas de A para B e de B para A.

Observa-se no MG 2, não utilizado em nenhuma chamada do presente teste, que o VCB permaneceu inalterado nas ocasiões “Antes, Durante e Depois” às chamadas, mantendo fixamente o único valor com que figurou na LP, conforme a referida Tabela II.

Constatou-se um comportamento peculiar dos VCBs durante a transcodificação, em cada chamada, ocasião em que apresentaram valores superiores aos dos momentos anterior e posterior. Isso foi comprovado pelo incremento de 1,2 unidades na média em “Durante”, em relação à ocasião “Antes” do referido teste.

Concluindo, o presente teste comprovou a eficácia do MBC, pois a necessidade da transcodificação foi informada por meio de uma mensagem SIP 488, indicativa da respectiva incompatibilidade entre os *codecs*. Então, o MSS acionou o MBC, que, após consultar à LP, encaminhou-lhe o MG nela constante mais apto à transcodificação. Deste modo, o fluxo de áudio não mais foi encaminhado de modo P2P e, sim, via MG selecionado pelo MBC [1].

C. Teste 3, com Media Gateway Ativo e Inativo

O objetivo do Teste 3 foi verificar como o MBC se portou no ambiente VoIP, cenário de testes, com participantes que possuíam *codecs* distintos e, dois MGs, sendo um ativo e um inativo propositalmente.

O que o distinguiu do Teste 2 foi possuir apenas um dos MGs ativo, neste caso o MG 2, em razão de o MG 1 não dispor do limiar mínimo de VCB, o que, por conseguinte, não lhe possibilitou integrar a LP. Para a inativação do MG 1, fez-se uso no mesmo do *software aafire*, que lhe exauriu o processador, tornando-o inapto para qualquer outro processamento e, por conseguinte, eliminou-o da LP pelo cálculo do seu VCB [10].

A Tabela III é ilustrativa da LP dos dois MGs componentes do Teste 3, aferida nas ocasiões “Antes, Durante e Depois” das chamadas realizadas.

A diferença entre os Testes 2 e 3, é que apesar de ambos portarem em seus cenários dois MGs, no Teste 2, ambos constavam da LP, pelo que o MBC retornou o melhor classificado. Já no Teste 3, apenas um se encontrava ativo por ocasião do teste, o MG 2, que por portar percentual mínimo de recurso computacional disponível, foi o único a integrar a LP e, portanto, apto para ser acionado pelo MBC.

O MG 1, embora inativo, foi consultado, a fim de verificar se dispunha de recurso mínimo necessário para figurar na LP. Sua ausência é comprovada na Tabela 3, em que não figura seu VCB.

Ressalta-se, contudo, que, caso o MG 1, inativo, viesse a dispor do requisito mínimo para integrar a LP, nela constaria e poderia eventualmente ser requisitado pelo MBC. O mesmo pode ocorrer com o MG desligado ao ser ativado.

TABELA III
VCBs DISPONIBILIZADOS NA LP NO TESTE 3
VCBs do Media Gateway 1 VCBs do Media Gateway 2

	VCBs do Media Gateway 1						VCBs do Media Gateway 2					
	Antes		Durante		Depois		Antes		Durante		Depois	
	Hora	VCB	Hora	VCB	Hora	VCB	Hora	VCB	Hora	VCB	Hora	VCB
1ª	11:43:01	-	11:44:01	-	11:45:01	-	11:43:01	12	11:44:01	14	11:45:01	13
2ª	11:46:01	-	11:47:01	-	11:48:01	-	11:46:01	13	11:47:01	15	11:48:01	13
3ª	11:49:01	-	11:50:01	-	11:51:01	-	11:49:01	12	11:50:01	14	11:51:01	13
4ª	11:52:01	-	11:53:01	-	11:54:01	-	11:52:01	12	11:53:01	15	11:54:01	14
5ª	11:55:01	-	11:56:01	-	11:58:01	-	11:55:01	12	11:56:01	13	11:58:01	13
	Média:	-	Média:	-	Média:	-	Média:	12,2	Média:	14,2	Média:	13,2

Por esse teste, concluiu-se que num cenário com dois MGs, um ativo e um inativo, as chamadas foram direcionadas apenas ao ativo, constante da LP.

O MG 2, dotado de menor capacidade de processamento que o MG 1, único ativo no presente teste, apresentou variação de duas unidades na média de VCBs da ocasião “Durante”, em relação à “Antes”, o que comprova o consumo de recursos computacionais durante a transcodificação, enquanto, o MG 1, no Teste 2, dotado de maior capacidade de processamento no referido teste, apresentou a diferença de apenas 1,2 unidades, comportamentos atribuídos à normalização provida pelo MBC.

Constatou-se, ainda, no presente teste, que os VCBs da ocasião “Durante” nas chamadas “1, 3 e 5” do Participante B para o A, ficaram abaixo dos valores dos VCBs das chamadas “2 e 4” efetuadas do Participante A para o B.

Em suma, com a adição do MBC, as chamadas que não seriam completadas puderam ser efetuadas e, em especial, de forma transparente ao usuário. Com isso validou-se novamente a proposta objetivada, pois, mais uma vez ficou demonstrada a eficácia do MBC para o balanceamento de chamadas VoIP a transcodificar [1].

D. Teste 4, com Media Gateways Inativos

O objetivo do Teste 4, foi verificar como o MBC se portou no ambiente VoIP com participantes que possuíam *codecs* distintos e dois MGs, ambos inativos propositalmente. Para a inativação dos MGs 1 e 2, uso-se o *software aafire*, mencionado anteriormente [10]. A fim de constatar o objetivado, foram intentadas cinco chamadas. Contudo, nenhuma foi estabelecida, o que é justificado pela ausência de MG apto a completá-la, ou seja, transcodificá-la.

Mesmo não tendo sido possível estabelecer nenhuma chamada em tal cenário, no entanto, o MBC esteve ativo e, quando as chamadas foram intentadas, foi acionado, no entanto não retornou nenhum MG apto a estabelecer as chamadas por meio da transcodificação, justifica-se, em virtude da ausência de MG na LP.

Constitui-se peculiaridade do Teste 4, a LP encontrar-se vazia, quando se tentou realizar as chamadas. Assim, constata-se que não há registro de VCB, o que se faz coerente ao modelo de teste aplicado, que não contou com MGs ativos, pois, ambos não possuíam o percentual mínimo de recurso computacional disponível requerido para figurarem na LP, por

utilizarem o *software aafire*. Por conseguinte, nenhum MG foi disponibilizado para o cálculo de VCB e a LP permaneceu vazia. Contudo, se chamadas fossem encaminhadas a MGs saturados, a qualidade seria altamente comprometida.

Apesar de não ter havido a efetivação de nenhuma das chamadas tentadas no presente teste, o MBC mostrou-se igualmente eficaz como nos demais testes implementados, pois aferiu os MGs para o cálculo dos seus respectivos VCBs, bem como ao ser acionado pelo MSS, consultou a LP, constatando-a vazia, pelo que não retornou nenhum MG.

Em suma, o MBC teve sua validação comprovada em todos os testes a que foi submetido, com ou sem transcodificação, bem como com MGs ativos e inativos [1] [2] [7].

IX. CONCLUSÃO

A necessidade de transcodificação de chamadas VoIP demanda consideráveis recursos de máquina, podendo exauri-la em número elevado. Desta forma, pode ocasionar o descarte de chamadas, bem como a degradação da qualidade das chamadas em curso. Assim, num cenário VoIP, é ideal que se tenha vários MGs, e que as chamadas sejam distribuídas entre eles de forma proporcional as suas capacidades de recursos.

Portanto, uma das principais contribuições desta pesquisa é o MBC. Assim sendo, o balanceamento de chamadas VoIP a transcodificar é implementado por meio do MBC, composto pelos seus Sub-módulos.

Para a validação da proposta, foram implementados e usados um Servidor de Chamadas e dois MGs. Os recursos relacionados a memória e processador de máquina foram usados para exemplificar os recursos monitoráveis dos MGs. A validação do MBC deu-se pela realização de diferentes testes no ambiente VoIP.

Os testes levaram em consideração participantes possuindo *codecs* idênticos, distintos e dois MGs. Tais testes demonstraram a eficácia do MBC, o que vai ao encontro do objetivo proposto, ou seja, prover o balanceamento de chamadas VoIP a transcodificar.

Para a VoIP, ainda não há padrões predominantes, isto inclui *hardware*, protocolos e virtualmente cada aspecto do sistema. No final, a VoIP é um grande avanço do sistema de telefonia atual em termos de eficiência, custo e flexibilidade. Como qualquer tecnologia emergente, alguns desafios precisam ser vencidos, mas está claro que será aprimorada a cada dia até que, futuramente, substitua o sistema de telefonia atual. Haja vista isto, é notório que, em curto prazo, o crescimento exponencial da *Internet* e a disseminação da VoIP, tornem imprescindível a utilização do MBC.

Como sugestões para melhoria desta pesquisa, tem-se a execução de testes exaustivos para obtenção de estatísticas, considerando os diversos *codecs* existentes, as diferentes configurações de MGs, atentando-se principalmente as arquiteturas de processadores, memória e barramento de entrada/saída. Outra sugestão para melhorar o MBC é uma melhor definição da fórmula para o cálculo do VCB, considerando a normalização dos diversos recursos possíveis existentes, associado ao MOS (*Mean Opinion Score*) dos *codecs* com o consumo de banda de rede.

REFERÊNCIAS

- [1] CUNHA, I. T. **Balanceamento de chamadas VoIP a transcodificar**. 2009. 200 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009.
- [2] CUNHA, I. T.; BARBAR, J. S.; FAINA, L. F.; MENDES, F. B. C.; ASHIDANI, P. J. Balanceamento de chamadas VoIP transcodificadas. In: 7TH INTERNATIONAL INFORMATION AND TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES SYMPOSIUM. **Proceedings...** Foz do Iguaçu, 2008.
- [3] TANENBAUM, A. S. **Redes de computadores**. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.
- [4] LENZINI, L.; MINGOZZI, E.; STEA, G. Bandwidth and latency analysis of modified deficit round robin scheduling algorithms. In: 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON PERFORMANCE EVALUATION METHODOLOGIES AND TOOLS (Pisa, Italy). **Proceedings...** vol. 180. ACM, New York, NY, 41, 11-13 October 2006.
- [5] SKYPE. Disponível em: <<http://www.skype.com/>>. Acesso em: 01 mar. 2008.
- [6] GONÇALVES, F. E. **Building telephony systems with OpenSER**. 1. ed. Birmingham, UK: Packt Publishing, 2008.
- [7] CUNHA, I. T.; BARBAR, J. S.; FAINA, L. F.; MENDES, F. B. C.; ASHIDANI, P. J.; TEIXEIRA, M. A. Balanceamento de chamadas transcodificadas VoIP. In: XL SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2008. **Anais...** João Pessoa – PB, 02-05 set. 2008.
- [8] MCGINNIS, M. **How to prepare your network for multiple codecs**. 13 abr. 2007. Disponível em: <<http://telephonyonline.com/>>. Acesso em: 26 jun. 2008.
- [9] TransNexus, Inc. **Performance benchmark test for asterisk B2BUA**. 21 out. 2008. Disponível em: <<http://www.transnexus.com/>>. Acesso em: 03 jan. 2009.
- [10] HESS, J. **aafire(1)** - Linux man page. Disponível em: <<http://linux.die.net/man/1/aafire>>. Acesso em: 03 out. 2008.
- [11] DAVIDSON, J. et al. **Fundamentos de VoIP**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.
- [12] SILVA, C. N.; Ramos, L. B. Análise ergonômica de um ambiente de comunicação via WEB. 1999. 167 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.
- [13] VIANNA, B. A.; MOURA, N. T.; ALBUQUERQUE, C. V. N.; Rebello, V. E. F.; BOERES, C. adaMOS: MOS-adaptive VoIP sources. In: 12TH BRAZILIAN SYMPOSIUM ON MULTIMEDIA AND THE WEB (WebMedia'06 – Natal, Rio Grande do Norte, Brazil, 19-22 nov. 2006). **Proceedings...** ACM, New York, NY, vol. 192, p. 223-232, 2006.
- [14] QADEER, M. A.; IMRAN, A. Asterisk voice exchange: an alternative to conventional EPBX. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER AND ELECTRICAL ENGINEERING (ICCEE 2008). **Proceedings...** IEEE Computer Society Washington, DC, USA, vol., n., p. 652-656, 20-22 Dec. 2008.
- [15] CHAVA, K. S.; HOW, J. Integration of open source and enterprise IP PBXs. In: 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON TESTBEDS AND RESEARCH INFRASTRUCTURE FOR THE DEVELOPMENT OF NETWORKS AND COMMUNITIES (TridentCom 2007). **Proceedings...** vol., n., p. 1-6, 21-23 May 2007.
- [16] GOODE, B. Voice over internet protocol (VoIP). In: IEEE. **Proceedings...** vol. 90, n. 9, p. 1495-1517, Sep. 2002.
- [17] AHMED, M.; MANSOR, A. M. CPU dimensioning on performance of Asterisk VoIP PBX. In: 11TH COMMUNICATIONS AND NETWORKING SIMULATION SYMPOSIUM (CNS'08 – Ottawa, Canada, 14-17 April 2008). **Proceedings...** ACM, New York, NY, p. 139-146, 2008.
- [18] MEGGELEN, J. V.; SMITH, J.; MADSEN, L. **Asterisk: the future of telephony**. 2. ed. USA: O'Reilly Media, Inc. 2007.
- [19] YU, J.; AL-AJARMEH, I. Call admission control and traffic engineering of VoIP. In: SECOND INTERNATIONAL CONFERENCE ON DIGITAL TELECOMMUNICATIONS (ICDT'07). **Proceedings...** IEEE Computer Society, Washington, DC, 1-5 July 2007.